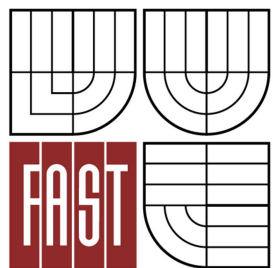




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

# STANOVENÍ ZATĚŽOVACÍCH MOMENTŮ SEKTORU JEZOVÉHO POLE VD ROUDNICE NAD LABEM

LOAD MOMENTS ACTING ON THE SECTOR WEIR BOX OF HYDRAULIC STRUCTURE  
ROUDNICE NAD LABEM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**PATRIK RŮŽEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN ŠULC, CSc.

**BRNO 2015**

## ZADÁNÍ VŠKP



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Patrik Růžek
<b>Název</b>	Stanovení zatěžovacích momentů sektoru jezového pole VD Roudnice nad Labem
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2014
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	29. 5. 2015
V Brně dne 30. 11. 2014	

.....  
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- Boor, B.; Kunštátský, J.; Patočka, C.: Hydraulika pro vodohospodářské stavby. SNTL Praha, 1968
- Čihák, F.: Posouzení funkce sektorového jezu v Roudnici nad Labem. Posudek, 4/2005
- Průcha, M.: Ocelové konstrukce vodních staveb. Skriptum, ES ČVUT v Praze, 1982
- Šulc, J.: Tlakové a momentové poměry na sektorových uzávěrech jezu Roudnice. Posudek, LVV FAST VUT v Brně, 2014
- Bubeník, M.: Poškození konstrukce sektoru pravého jezového pole v Roudnici nad Labem. Technická zpráva, VD-TBD a. s., 2013

## Zásady pro vypracování

Provést rozbor zatěžovacích sil a momentů působících na sektorovou konstrukci jezu Roudnice nad Labem při uvážení její polohy a proměnné úrovně hladiny v podjezí. Vypočítat dílčí momenty od všech působících sil a moment celkový vzhledem k ose otáčení sektoru. Při řešení uvažovat propojení tlakové komory sektoru s prostorem horní nebo dolní zdrže. Stanovit polohu hladiny ve vnitřním prostoru sektoru pro dosažení rovnovážné polohy nearetované konstrukce. Úroveň hladiny horní vody je uvažována stálá na kótě 150,30 m n. m. (BPV). Úlohu řešit jako rovinný problém.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA**

Tato práce se zabývá stanovením zatěžovacích momentů na hydrostatickém sektorovém jezu v Roudnici nad Labem. Problematika se řeší z důvodu vyskytlé závady při sklápění sektoru. Cílem této práce je určit výsledné zatěžovací momenty, při polohách a stavech dolní a horní vody převzatých z modelového výzkumu. Problematiku jsem řešil jako rovinný 2D problém za pomoci AutoCADu, kde jsem odečítal příslušná data. Veškeré výpočty pak počítal v programu Microsoft Excel. V celém textu se zabývám vždy výpočtem jednoho metru konstrukce. Provedeným výpočtem jsem zjistil, že v určitých pozicích a stavech může docházet k problémům při manipulaci se sektorem.

**Klíčová slova:** Hydrostatický jez, otáčivý moment, hydrostatika, hydrodynamika



## **ABSTRAKT AND KEYWORDS**

This thesis deals with the determination of the load torque on the hydrostatic sector weir in Roudnice nad Labem. Problems are solved due to a fault in the lowering sector. The aim of this study is to determine the resulting load moments in positions and states of the upper and lower water taken from modeling research. I solved the issue as a 2D planar problem using AutoCAD where I subtracted the relevant data. All calculations I then counted in Microsoft Excel. Throughout the text is always concerned with the calculation of one meter structure. Performed by calculating, I found that in certain positions and conditions can cause problems when handling sector.

Keywords: Hydrostatic weir, torque, hydrostatics, hydrodynamics

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Patrik Růžek *Stanovení zatěžovacích momentů sektoru jezového pole VD Roudnice nad Labem*. Brno, 2015. 65s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Šulc, CSc

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....

podpis autora

Patrik Růžek

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Janu Šulcovi, CSc za odborné vedení, trpělivost a cenné rady, které mi při zpracování této práce poskytl. Tato bakalářská práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	11
1.1	HISTORIE.....	11
1.2	DĚLENÍ JEZŮ .....	11
1.2.1	PEVNÉ JEZY .....	11
1.2.2	POHYBLIVÉ JEZY .....	16
2	SEKTOROVÝ JEZ ROUDNICE .....	20
2.1	HISTORIE VODNÍHO DÍLA .....	20
2.2	POPIS VODNÍHO DÍLA.....	21
2.2.1	HYDROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA JEZOVÉHO PROFILU.....	21
2.2.2	ÚČEL VODNÍHO DÍLA.....	21
2.2.3	ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY VODNÍHO DÍLA .....	21
2.2.4	JEDNOTLIVÉ SOUČÁSTI VZOUVACÍHO OBJEKTU .....	21
3	POPIS FUNKCE SEKTORU.....	24
4	POUŽITÁ METODIKA VÝPOČTU CELKOVÉHO MOMENTU .....	26
4.1	MOMENTY VYVOLANÉ HYDRODYNAMICKÝM ÚČINKEM PŘEPADAJÍCÍ VODY PŘES VZDUŠNÍ LÍČ JEZU.....	27
4.2	MOMENTY VYVOLANÉ HYDROSTATICKÝM ÚČINKEM VODY PŘI PROPJENÍ TLAKOVÉ KOMORY S PROSTOREM HORNÍ NEBO DOLNÍ ZDRŽE .....	29
4.3	MOMENTY VYVOLANÉ VLASTNÍ TÍHOU KONSTRUKCE.....	32
4.4	MOMENTY VYVOLANÉ VZTLAKOVOU SÍLOU.....	33
4.5	CELKOVÝ MOMENT .....	37
5	ZÁVĚR.....	40
7.	POUŽITÁ LITERATURA .....	41
	SEZNAM TABULEK .....	42
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	43
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	44



# 1 ÚVOD

*Jezem rozumí se stavba v říčním korytě, jejímž účelem je zvýšit hladinu nad jezem a umožnit odběr vody z řeky pro různé účely, ku příkladu pro závlahy, pro zásobení průmyslu, obcí a měst vodou. Na tocích s lodní dopravou zajišťuje vzduť hladiny splavnost toku. Často u jezů jsou vybudovány vodní elektrárny [3].*

## 1.1 HISTORIE

Prvním jezem o němž se zmiňují historické prameny byl jez u Žatce, jehož stavba se datuje do roku 778. Žatecký jez byl vybudován za účelem dodávky vody pro nedaleký mlýn. Po vzoru tohoto jezu se začaly stavět další jezy, které sloužili k pohánění především mlýnů, pil, brusíren a jinačích zařízeních. V Praze byly roku 993 provozovány tři jezy a kupříkladu roku 1241 byl postaven jez, který vzdouval vodu a zaručil tak trvalé plnění hradebního příkopu v Praze. Další rozvoj budování jezů spadá do období splavňování toků, za účelem obchodu a dodávky surovin. V této době byla ale stále plavba limitována dostatečným průtokem, neboť pro překonání spádu jezů se používala stále vorová propust', přestože už od 15. století byla vynalezena plavební komora. První plavební komora u nás se postavila roku 1729 inženýrem Ferdinandem Schorem. Díky rozvoji průmyslu a hutnictví v první polovině 19. století a tím pádem i větší výroby litiny a oceli bylo možno budovat první pohyblivé jezy [2].

## 1.2 DĚLENÍ JEZŮ

Jezy se dělí podle jejich funkce a tomu odpovídající konstrukčního uspořádání na dva hlavní druhy, jezy **pevné** a jezy **pohyblivé**. Pevný jez vzdouvá vodu pouze nehybným jezovým tělesem, a tudíž je úroveň vzduté hladiny proměnlivá v závislosti na průtoku. Oproti tomu jezy pohyblivé vzdouvají vodu pomocí pohyblivých hradicích těles, a jsou tak schopny udržet úroveň hladiny na relativně stále kótě, a to až do maximálních povodňových průtoků [2].

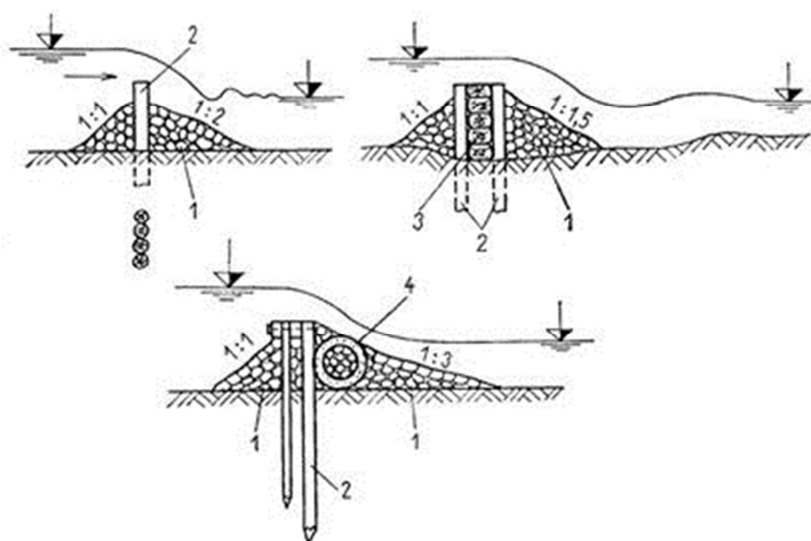
### 1.2.1 PEVNÉ JEZY

Pevné jezy lze dělit dle různých hledisek, například dle výšky, tvaru příčného řezu, způsobem převádění vody přes jez, stavebního materiálu, těsnosti konstrukce a doby trvání jezu ve funkci. Žádné z těchto kritérií však nemohou samostatně rozdělit pevné jezy úplně. Zpravidla se tedy volí dělení jezů dle materiálů, ze kterých je konstrukce zhotovena s kombinací, zda-li se jedná o jez dočasný či stálý [2].

### DŘEVĚNÉ JEZY DOČASNÉ

Slouží k dočasnému vzduť hladiny o malou výšku. Na tento jez nejsou zpravidla kladeny požadavky na dokonalou těsnost, ale klade se důraz hlavně na jednoduchost konstrukce a taky na minimální náklady spojené s jeho stavbou. Jako materiál se používá dřevo s velkým obsahem pryskyřice, kupříkladu borovice, modřín či dub. Velmi špatnou volbou je pak smrk, neboť kvůli nízkému obsahu pryskyřice podléhá velmi brzy hnilobě. Konstrukčně se pak řeší jako pilota ražená do dna koryta, kdy se před a za pilotovou stěnu naveze kamenný zához. Můžeme se setkat také s řešením kdy se beraní dvě pilotové stěny a mezi ně se vkládá jíl, čímž dochází ke zvětšení těsnosti konstrukce. V případě, že dno koryta je tvořeno z nepropustné zeminy, volí se často metoda, kdy se beraní dvě řady dřevěných pilotů, mezi něž se vkládají dřevěné trámký či kulatina. Piloty v jedné řadě se beraní ve vzdálenosti (1-2)m od sebe [2].

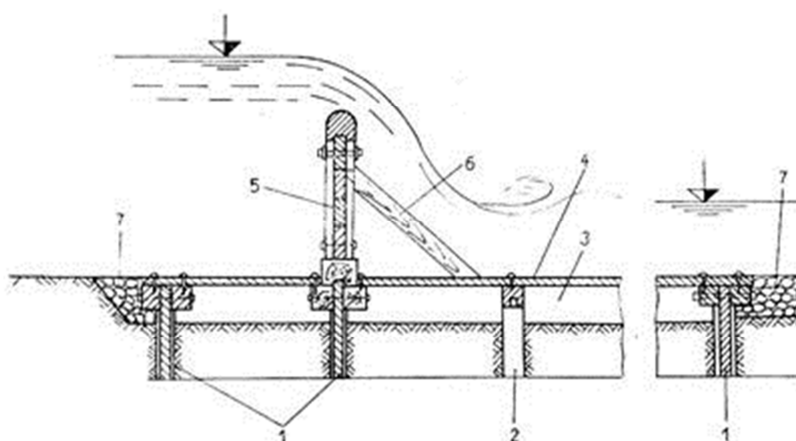
Při výstavbě provizorních jezů se však nemusíme omezovat pouze na dřevo, ale dají se také dobře použít staré kolejnice či U a I profily, které se beraní podstatně snadněji [2].



**Obr. 1-1** Prozatímní dřevěné jezy: 1 – kamenný zához; 2 – dřevěné piloty; 3 – dřevěné kuláče; 4 – haťový ponorný válec [2]

## ***DŘEVĚNÉ JEZY TRVALÉ***

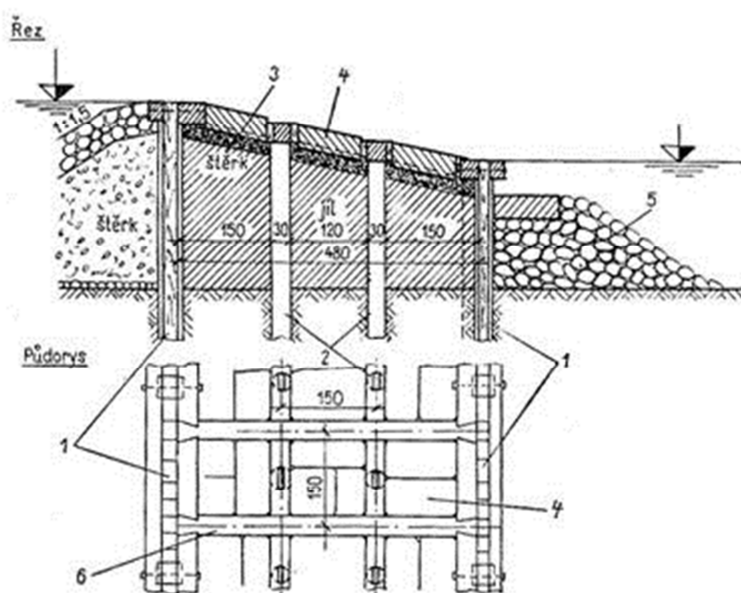
Do této kategorie se řadí jezy s jednoduchou hradicí stěnou, dřevěné jezy s výplní a jezy srubové. Oproti jezům dočasným se liší zejména svojí výškou (u jezů srubových až 5 m) a také technickým opatřením proti uhnutí dřevěných částí konstrukce. To se zajišťuje stálým přeléváním. Jezy s jednoduchou hradicí stěnou jsou takové konstrukce, které používají k vzduší hladiny dřevěnou stěnu, která je často podepřena ze vzdušní strany dřevěným trámcem tak, aby nedošlo k jejímu překlolení. Nevýhodou této konstrukce bývá právě vzdušní líc, kde se tvoří vzduchový polštář a dochází tím pádem ke střídavému kontaktu se vzduchem a vodou, což způsobuje rychlé uhnutí této části konstrukce. Výměna jen části konstrukce je velmi obtížná, proto se volí varianta, kdy se konstrukčně řeší už při návrhu vyměnitelnost celé hradicí stěny, tak aby byla zachována spodní stavba jezu [2].



**Obr. 1-2** Trvalý dřevěný jez: 1 – štětové stěny; 2 – dřevěné piloty; 3 – beton; 4 – fošny; 5 – hradicí těleso; 6 – vzpěra; 7 – kamenný zához [2]



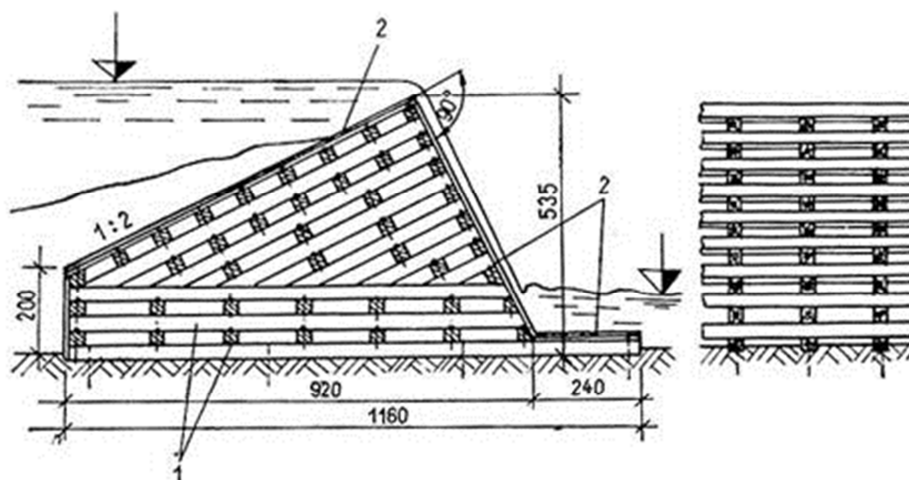
Dřevěné jezy s výplní jsou typ konstrukce, kdy se mezi řady pilot osově vzdálených cca (0,1-0,2) m sype zemina. Zde nastává problém, který typ zeminy zvolit, neboť pokud se zvolí moc jemná frakce (jíl či písek) může docházet k sufozi jemných částic a tím pádem i ke ztrátě stability, neboť právě výplň mezi pilotami zajišťuje hlavní statickou stabilitu. Na druhou stranu při volbě moc velké frakce (štěrk, balvany) ztrácí tento jez svou vodotěsnost a stává se jezem velmi propustným [2].



**Obr. 1-3** Dřevěný jez s výplní: 1 – štětové stěny; 2 – piloty; 3 – jílové těsnění; 4 – žulové kvádry; 5 – kamenný zához; 6 – převázky [2]

V případě, že se úsek toku nalézá na skalnatém či silně balvanitém podloží, a tudíž je zde pilotování pomocí beranění zcela nemožné volí se srubový jez. Do skalního podloží se zarazí ocelové trny, za které se zachycují jednotlivé sruby zhotovené na břehu z trámu nebo kuláčů. Ty se skládají do kříže a připevňují pomocí hřebů a šroubů. Sruby se zatěžují balvanitým záhozem. Těsnění je zajištěno přibitím fošen po celém půdorysu srubového jezu. Nutná pozornost se věnuje spodní části jezu, kdy vlivem velké nerovnosti povrchu vznikají mezery, kterými proudí voda. Už před začátkem založení je nutná aspoň částečná úprava dna aby došlo k vyrovnání nerovností. Před hráz se sype menší frakce a postupným sypáním se frakce zmenšuje, až nakonec se zasype pískem, aby došlo k postupnému zanášení takhle vzniklého valu. Tím se zaručí dostatečné utěsnění dna jezu.

Hlavní nevýhoda dřevěných jezů jsou značné finance spojené s jejich údržbou a neustálou kontrolou stavu materiálu [2].

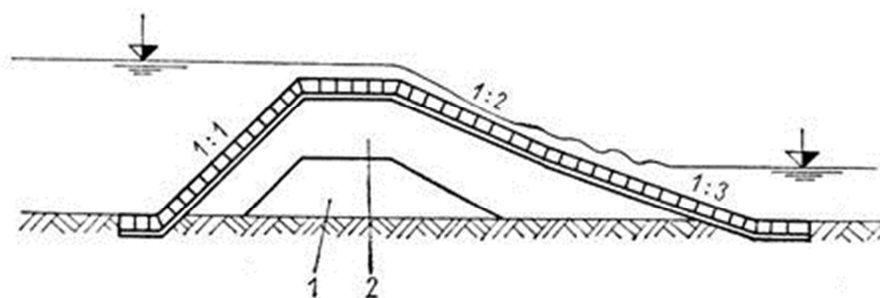


Obr. 1-4 Srubový jez: 1 – dřevěné trámce; 2 – bednění z fošen [2]

## KAMENNÉ JEZY

Kamenné jezy svou stavbou připomínají malé sypané hráze. Návodní líc má zpravidla strmější sklon (1:1 – 1:1,75) než líc vzdušní (1:2). Hráz je tvořena jádrem z jemného materiálu a obalem kolem něj z hrubého materiálu. I zde se řeší otázka vyplavování jemných částí a kvůli malé výšce je řešení pomocí těsnění a filtru zcela nemožné. Často se tento problém řeší pomocí pokládky dlažby na cementovou maltu. Další výhodou této metody je ztráta nutnosti zhotovovat dvě zóny a možnost udělat celou stabilizační část z jednoho hrubšího materiálu. Vývar se zhotovuje těžkým kamenným záhozem.

Další možnost je použít ocelové štětovnice ražených do osy hrázky, které zabezpečují těsnost jezu a zároveň zlepšují celkovou stabilitu jezu. Štětovnice také svým založením zabraňují podemletí jezu [2].



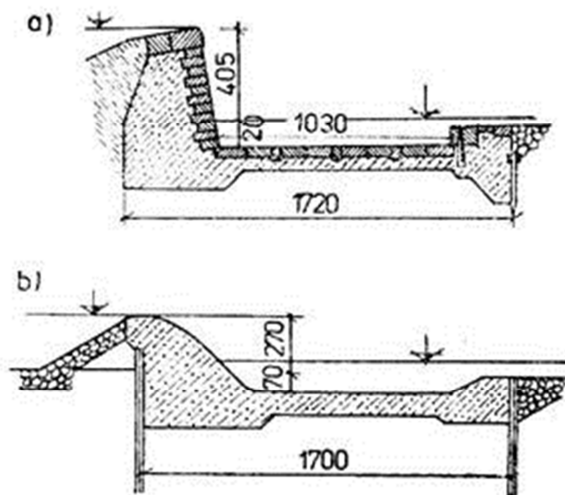
Obr. 1-5 Kamenný jez: 1 – jemný materiál; 2 – hrubý materiál [2]

## ZDĚNÉ A BETONOVÉ JEZY

Od čistě zděných jezů se dnes už odpouští, neboť měly spoustu nevýhod. Zdění jezů bývalo často velmi náročné a tudíž i zdlouhavé. Opracování kamene či cihel do požadovaného tvaru bylo velmi pracné. Proto se začaly stavět jezy betonové se zděným obložením, nebo čistě betonové. První tvary vycházely z tvarů jezů dřevěných, které ale zbytečně přetěžovaly podjezí. Proto se začaly navrhovat jezy tak, aby svým tvarem co nejvíce podobaly přepadovému paprsku vody. Také se začala věnovat zvýšená pozornost podjezí. Se zvyšující se výškou konstrukce docházelo k značnému navýšení namáhání podjezí. To se řešilo

budováním vývaru trojúhelníkového či lichoběžníkového průřezu. Tyto vývary byly zpravidla málo dlouhé a nezahloubené. Celou stabilitu stavby pak zajišťuje vlastní váha konstrukce,

Betonové jezy se dnes považují za nejlepší variantu pevných jezů a to zejména svou spolehlivostí a malým požadavkem na obsluhu. Zvládají převádět ledové kry, dostatečně usměrňují přepadový paprsek, tak aby vznikl vodní skok s povrchovým režimem [2].

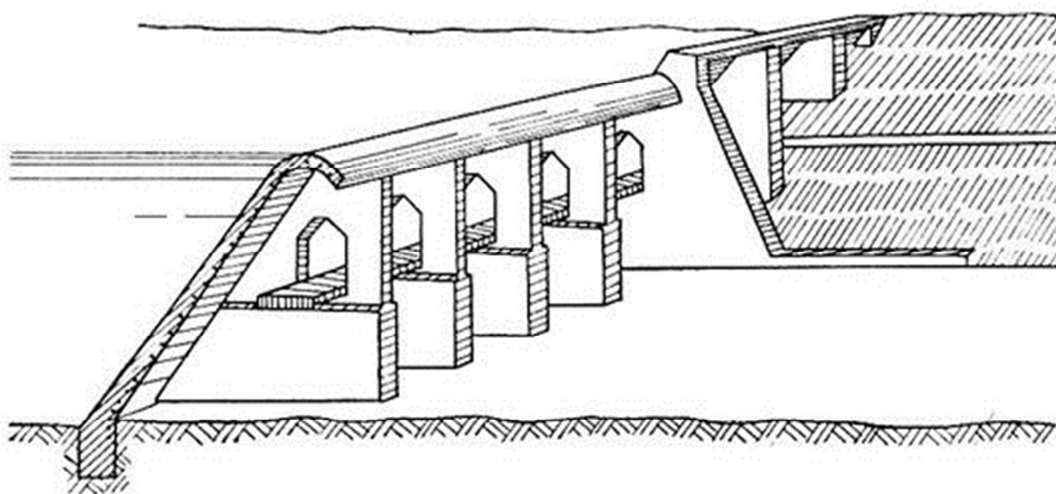


**Obr. 1-6** Betonový jez: a) se strmou přelivnou stěnou; b) – se šikmou přelivnou stěnou [2]

### **ČLENĚNÉ PILÍŘOVÉ JEZY**

Členěné pilířové jezy, neboli také Ambursenovy jezy, vznikly kvůli úspoře betonu při výstavbě betonových jezů. Docílí se toho tím, že nebudeme navrhovat těleso plné, ale jez vytvoříme z řady betonových pilířů s osou ve směru toku, které se zapřou do svislých železobetonových pilířů mající zpravidla trojúhelníkový tvar. Tyto pilíře přenášejí veškeré zatížení do podloží. Ve světě se můžeme setkat se uzavřeným typem, který se volí hlavně v oblastech s tuhými mrazy, nebo s typem otevřeným.

Častým problémem při výstavbě bylo popraskání návodních betonových desek vlivem nestejnomyšerného sedání. Proto se doporučuje celý jez dilatačně po výšce rozdělit [2].



**Obr. 1-7** Otevřený typ Ambursenova otevřeného jezu [2]

## 1.2.2 POHYBLIVÉ JEZY

Jezy pohyblivé lze rozdělit dle mnoha kritérií:

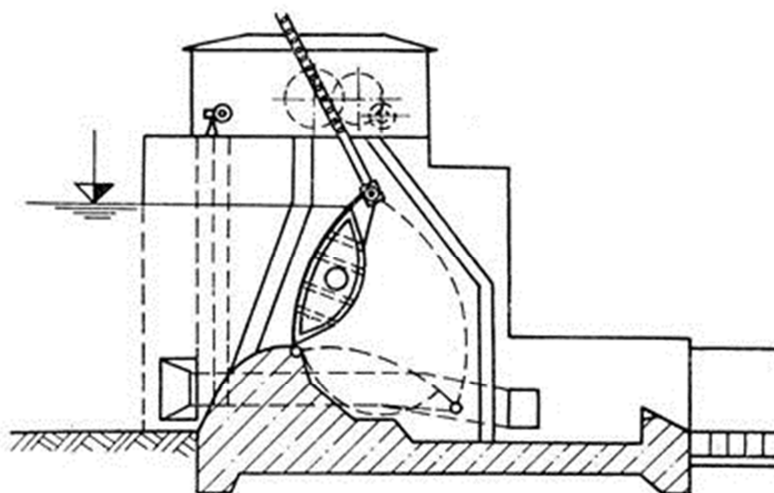
- Podle způsobu ovládání:
  - ručně pohybované
  - ovládané pohybovými mechanismy
  - změnou tlaku vody
- Podle funkce:
  - automatické
  - poloautomatické
  - s trvalou obsluhou
- Podle členitosti:
  - členěná
  - celistvá
- Podle způsobu jejich pohybu:
  - posuvné nahoru či dolů (zdvižné, spustné)
  - otočné nebo sklopné
  - valivé
  - plovoucí
  - s kombinovaným pohybem
- **Podle typu konstrukce**
  - jezy pokloповé
  - jezy stavidlové
  - jezy segmentové
  - jezy válcové
  - jezy vakové
  - jezy hydrostatické

### ***POKLOPOVÉ JEZY***

Pokloповý jez má hradicí těleso deskovitého tvaru, popřípadě v příčném řezu zaoblené z hydraulických důvodů. Hradicí těleso se otáčí kolem vodorovné osy umístěné při horní nebo dolní hraně, popřípadě přibližně uprostřed. Úroveň hladiny se reguluje přepadem nebo výtokem, či kombinací obou. Hlavní dělení pokloповých jezů je dle umístění osy. Dělíme pak jezy na:

- poklopy s osou otáčení na spodní stavbě
- poklopy s osou otáčení nad spodní stavbou, ale pod hladinou vzduché vody
- poklopy s osou otáčení nad hladinou vzduché vody

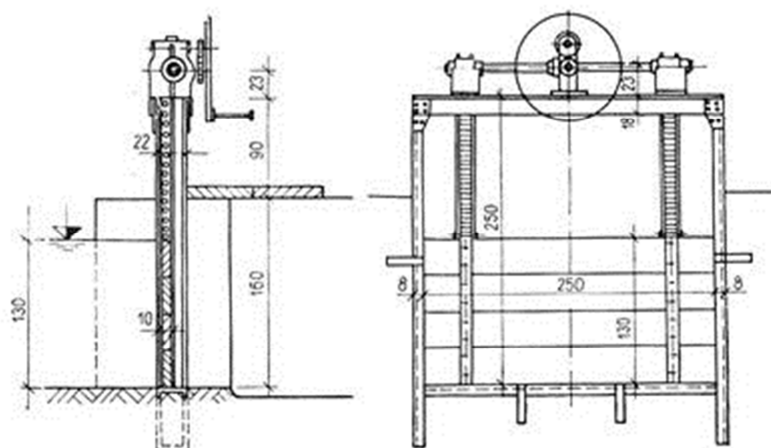
Mezi nejrozšířenější pokloповé jezy patří klapka, která spadá do první kategorie, tedy s osou otáčení na spodní stavbě. Klapky můžeme dále rozdělit podle tvaru příčného průřezu na klapky deskové, troubové a duté. Hlavní výhody dutých klapek, je jejich prostorová tuhost. Tudiž zde odpadá nutnost mít zvedací zařízení na obou stranách klapky a stačí pouze, aby klapka byla ovládána jen z jedné strany. Taktéž se klapky osvědčily při převádění ledových ker. Jejich hlavní nevýhoda nastává u řek se splaveninovým režimem, zejména pak se sunutými splaveninami. V takovém případě se musí klapka celá sklopit [2].



Obr. 1-8 Dutá klapka s pohybovým mechanismem [2]

## STAVIDLOVÉ JEZY

Stavidla patří mezi nejstarší typ pohyblivých jezů. Hradicí stěnu tvoří stavidla, což jsou plošné prvky osazené kolmo k toku, a které se posunují v drážkách. Ty jsou často zhotoveny z I nosníků, které jsou kvůli velkému tření mezi vytahovanými stavidly a stěnami drážky opatřeny vodícími kolečky. Voda se převádí spodní částí stavidla, tedy výtokem, nebo přepadá přes horní okraj stavidla. V případě výtoku hovoříme o takzvaném stavidle zdvižném. U tohoto typu nastává problém u vyšších vzdutí, kdy manipulace jen o jeden centimetr, může znamenat výrazné změnění průtoků. V případě opačném se jedná o stavidla spustná. Dalším typem stavidlového jezu je stavidlo s klapkou, který kombinuje výhody stavidla zdvižného, který se hodí při převádění splavenin, a klapky, která dobře převádí ledové kry a spadané listí či větve [2].

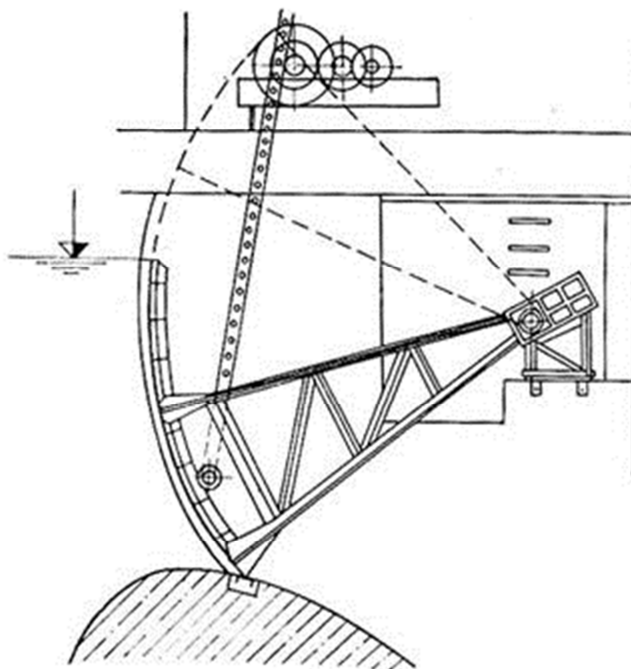


Obr. 1-9 Stavidlový jez [2]

## SEGMENTOVÉ JEZY

Znakem charakterizující všechny segmentové jezy je otáčení kolem vodorovné osy umístěné výrazně mimo hradicí stěnu. Tato stěna je nejčastěji válcová se středem v ose otáčení. Tlak vody se přenáší z hradicí stěny pomocí ramen do čepových ložisek, které jsou nejčastěji připojeny k jezovým pilířům a umožňují tak otáčivý pohyb segmentu. Ložiska se mohou nacházet na vzdušné straně (ramena jsou namáhána tlakem) nebo na straně návodní (ramena

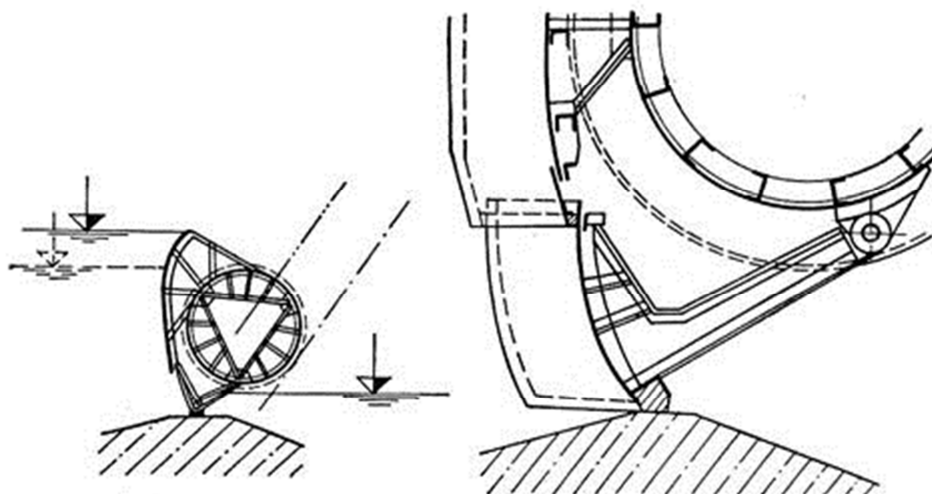
jsou pak namáhány tahem). I zde můžeme dělit segmenty podle způsobu regulace hladiny na zdvižné, spustné a segmenty s klapkou [2].



Obr. 1-10 Segmentový jez zdvižný [2]

## VÁLCOVÉ JEZY

Válcové jezy jsou charakteristické valivým pohybem hradicího tělesa po zpravidla šikmé dráze. Hradicí těleso je tvořeno ocelovým válcem, který je na koncích opatřen ozubenými koly, které se pohybují v drážkách. Regulaci hladiny provádíme buď zdvihem, nebo spuštěním válce. Válce zdvižné jsou opatřeny na spodní straně štítem, který je v některých případech pohyblivý, což nám umožňuje lepší regulaci průtoků a pomáhá lépe převádět ledové kry. Válce spustné převádějí vodu přepadem. Můžeme se také setkat s typem kdy je na horní části válce umístěna klapka [2].



Obr. 1-11 Válcový jez s dolním pohyblivým štítem [2]

## ***VAKOVÉ JEZY***

Vakový jez typ hradicí konstrukce, kdy do vaku z pryžového materiálu je vháněna voda z horní zdrže. Neboť je vak uchycen na návodní straně po celé délce, tak se při jeho napouštění zvedá. Když je vak plně napuštěn má hruškovitý tvar. Při potřebě snížit vzdouvací výšku, se voda z vaku vypustí do dolní zdrže. Hlavní výhoda vakových jezů spočívá v jejich nízké pořizovací ceně, nízkých provozních nákladech, snadné až skoro žádné obsluze. V počátcích se objevovaly starosti ohledně zimního provozu, ale ukázalo se, že vak zcela nikdy nepromrzne díky vodnímu paprsku, který přes něj přepadá [2].

## ***HYDROSTATICKÉ JEZY***

Jezy hydrostatické jsou takové jezy, které jsou ovládány pouze pomocí přetlaku vyvolávaným horní zdrží. Ta je propojena s tlačnou komorou, která se nachází ve spodní stavbě, pomocí potrubí opatřeného vodovodními uzávěry. Jedná se zpravidla o šoupata ručně, či mechanicky ovládána. Při potřebě snížit tlak v tlačné komoře se vypustí voda do dolní zdrže. Veškeré hydrostatické jezy jsou regulovány přepadem. Hydrostatické jezy dělíme:

- pokloповé
  - dvoupokloповé
  - třípokloповé
  - vahadlové
- segmentové
- sektorové
- tabulové

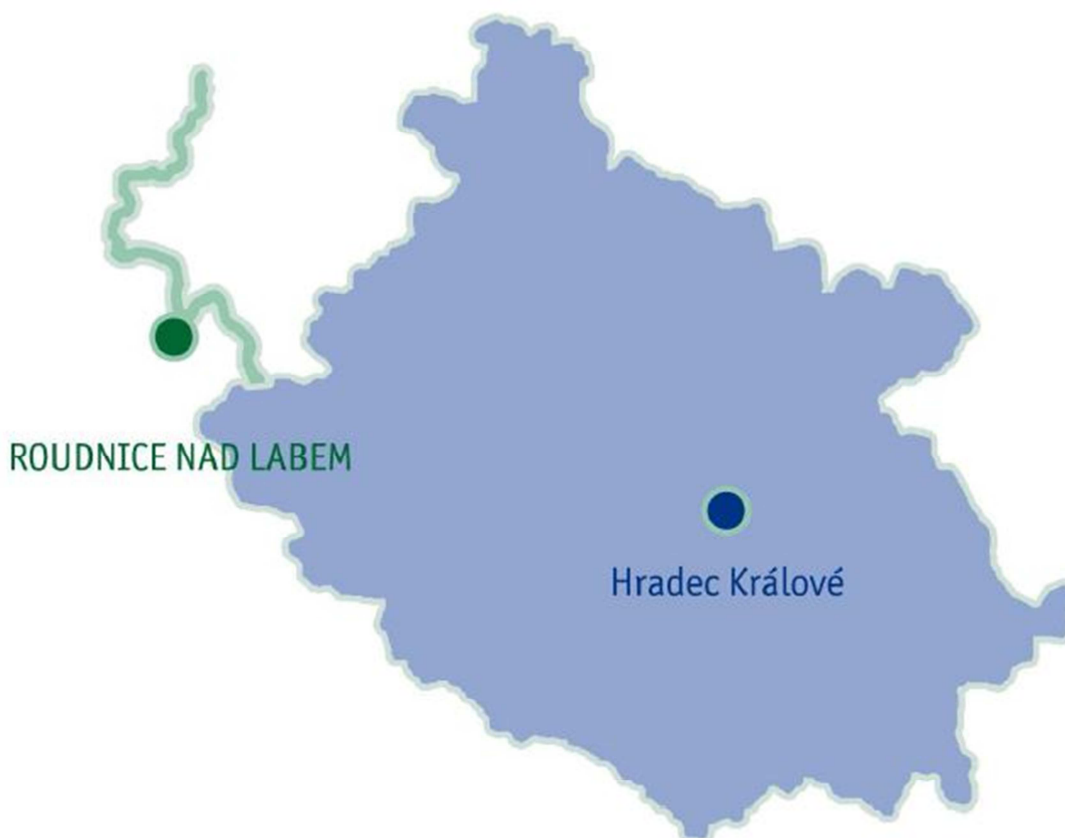
Hydrostatické jezy – sektorové

Patří mezi nejrozšířenější hydrostatické jezy. Hradicí těleso se skládá z válcové návodní stěny a přelivné stěny, které se otáčí kolem ložisek upevněných na spodní stavbě. Hradicí těleso je drženo ve vztyčené poloze tlakem vody z tlačné komory na přelivnou stěnu, která se stává současně stěnou hybnou, zatímco tlak působící na válcovou stěnu působí vždy do otáčivého čepu. Válcová stěna přejímá tedy pouze funkci krycího poklopu, což je charakteristickým znakem sektoru spolu se sloučením funkce hybné a přelivné stěny v jednom prvku. Geometrický tvar sektoru je dán poloměrem  $R$  válcové stěny, který se obvykle navrhuje ve vztahu k násobku výšky  $R = (1,4 - 1,5) H$ . Aby nedocházelo k překlopení jezu vlivem velkého talku z tlačné komory, je zachycen zárážkami připojenými na spodní stavbu a na dolní konce válcové stěny. Na spodní stavbu se také osazují malé otočné vzpěry, které jsou všechny uchyceny na společné hřídeli. Slouží k podepření a zaaretování sektoru v jeho nejvyšší poloze, což slouží hlavně v případě revize tlačné komory [2].

## 2 SEKTOROVÝ JEZ ROUDNICE

### 2.1 HISTORIE VODNÍHO DÍLA

Zdymadlo Roudnice nad Labem se nachází na řece Labe v ř. km 809,729 a bylo vybudováno v rámci výstavby vodní cesty na Vltavě a Labi na začátku 20. století. Samotná výstavba, tehdy ještě hradlového jezu, probíhala v letech 1906 – 1910. Stavba byla umístěna pod příhradovým ocelovým mostem. Jez byl rozdělen na tři jezová pole. Toto rozdělení se zachovalo i po jeho rekonstrukci v 60. letech 20. století, kdy se hradlové hrazení, které bylo z hlediska ruční manipulace velmi náročné a nebezpečné, nahradilo jezem hydrostaticky sektorovým. Hlavní důvod rekonstrukce byl, aby došlo k zajištění splavnosti řeky v zimním období a při velkých vodách. Rekonstrukce a modernizace probíhala v letech 1967 – 1972. Plavební zařízení, vybudované v letech 1908 – 1910, prošly postupně také rekonstrukcí. Malá plavební komora byla celkově rekonstruována v letech 1974 – 1975 na užitnou délku 85 m, což je navýšení o 12 m z původních 74. Do horního ohlaví byla osazena klapková vrata. Velká plavební komora byla rekonstruována v letech 2001 – 2003. Její délka se ze 146 m navýšila na celkovou užitnou délku 155 m. Oboje ohlaví byly pak rozšířeny z 11 m na 22 m [1].



Obr.2-1 Poloha jezu na Labi [1]



## 2.2 POPIS VODNÍHO DÍLA

### 2.2.1 Hydrologická charakteristika jezového profilu

Plocha povodí	42 357 km <sup>2</sup>
Průměrný průtok	252,7 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
Stoletý průtok Q <sub>100</sub>	4 083 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
Maximální průtok srpen 2002	5 050 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>

### 2.2.2 Účel vodního díla

- dopravní – zajištění potřebných hloubek a vyhovujících podmínek pro plavbu ve zdrži
- hospodářský – odběry povrchové vody z jezové zdrže
- rekreační – využití zdrže a vorové propusti pro vodní sporty; rekreační rybolov

### 2.2.3 Základní technické parametry vodního díla

#### *Jez*

Počet polí	3
Světlá šířka jezových polí	54,05 m
Šířka betonových dělicích pilířů	3,45 m
Max. konstrukčně možná hrazená výška	2,70 m
Současná hrazená výška	2,40 m
Hradicí konstrukce	hydrostatický sektorový uzávěr
Umístění hlavní strojovny	v levém pilíři pod jez. velínem

#### *Provizorní hrazení*

Provizorní hrazení jezu proti horní i dolní vodě se sestává z vyjímatelných slupic a ocelových stavidlových desek o rozměrech (3,86 x 1,9) m, které se zasunují mezi slupice. K osazení je nutná plovoucí mechanizace.

#### *Charakteristika jezové zdrže*

Celkový objem	4,21 mil. m <sup>3</sup>
Kóta hladiny horní vody	149,59 m n. m. Bpv
Povolená tolerance kolísání vody	-20 cm až + 15 cm
Kóta hladiny dolní vody	146,59 m n. m. Bpv (vzdutí VD České Kopisty)
Délka vzdutí	9,245 km

### 2.2.4 Jednotlivé součásti vzouvacího objektu

#### *Spodní stavba*

Spodní stavba je železobetonová a vytváří se sklopeným sektorovým uzávěrem Jamborův práh, který při vysokých průtocích vyvozuje minimální vzdutí. Spodní stavba vystupuje nad dno o 0,5 m, na vzdušní straně je šikmý líc ukončen rozrážecí. Na betonovou konstrukci v podjezí navazuje opevnění dna koryta kamenným záhozem. Uvnitř spodní stavby jsou tlačné komory pod jednotlivými uzávěry a komunikační štola o rozměrech (2,0 x 2,0) m, která umožňuje vstup do všech pilířů a po zaaretování sektorů a vyčerpání vody také do tlačných

komor. Štolou prochází hydraulická a elektrická instalace jezu, sběrný žlab prosáklé vody a je zde instalováno měřicí zařízení pro sledování deformací spodní stavby jezu [1].

### ***Hradicí konstrukce***

Hradicí konstrukce je ocelová, svařovaná o hmotnosti každého sektoru 79 tun. Těleso sektoru má průřez vypouklého trojúhelníku a ze dvou stran je opatřeno plechovou obšívku, která vytváří jeho hybné stěny s funkcí hradicí a přelivné plochy. Pod přelivnou plochou je uzávěr přes šest hlavních kluzných ložisek připojen k betonům spodní stavby. Dolní otevřená strana sektoru umožňuje hydrostatické síle, odpovídající výšce hladiny nad jezem, působit z tlačné komory na jeho pohyblivé stěny. Změnou těchto sil pak lze s tímto mohutným tělesem pohybovat. Hlavní ložiska dovolují sektoru otáčení – směrem vzhůru, pokud je pod sektor napuštěna voda ze vzduté hladiny nad jezem, nebo naopak směrem dolů, pokud je z místa pod sektorem voda vypouštěna do dolní vody pod jez. Regulaci přítoku vody pod sektor nebo odtoku z místa pod ním, zajišťuje trojcestný válcový ventil. Ovládání trojcestného ventilu je automatické ve vazbě na úroveň hladiny vody v nadjezí a na polohu přelivné hrany sektoru. Lze ho však ovládat i manuálně podle potřeb provozovatele. Přesnost dodržení hladiny je v centimetrech. Těleso sektoru je těsněno tvarovými pryžovými profily. Pro zajištění zimního provozu jsou boční štíty hradicí konstrukce každého pole vyhřívány [1].

### ***Jezový velín***

Jezový velín je umístěn na dělicí zdi mezi horním plavebním kanálem a jezem. Z něho je přístup do komunikační štoly ve spodní stavbě jezu. V manipulační místnosti velínu jsou umístěna potřebná zařízení pro automatické ovládání uzávěrů a je odtud možná i kontrola všech funkcí jezu [1].

### ***Bývalá vorová propust***

Bývalá vorová propust je umístěna u pravého břehu a svojí horní částí navazuje na jez. Je dlouhá 220 m a široká 12 m se stupňovitým dnem. Z horní vody ji lze zahradit gumovým vakem plněným vodou. Provizorní zahrazení se provádí dřevěnými hradly opřeny o vodorovný nosník. Začátkem 20. století sloužila tato propust pro splavování vorů přes jez. Od 60. let 20. století je v propusti instalována umělá slalomová dráha provozovaná Kanoistickým klubem Roudnice nad Labem [1].

### ***Rybí přechod***

Rybí přechod je umístěn v dělicí zdi u vtoku do horního plavebního kanálu a obchází levý břehový pilíř mostu. Je komůrkový, dlouhý 40 m, široký 1,5 m a dvakrát směrově zalomený.

### ***Plavební zařízení***

Plavební zařízení je situováno u levého břehu a zahrnuje dvě plavební komory (malou a velkou), horní a dolní plavební kanál s rejdami a čekací stání. Dvě komory jsou umístěny vedle sebe ve vzdálenosti 900 m od osy jezu směrem po vodě. Od vlastního řečiště je odděleno umělým ostrovem dlouhým 1,7 km a širokým až 180 m.

- **Malá plavební komora** má užitnou délku 85 m a šířku 11 m. Minimální hloubka vody nad oběma záporníky je 2,7 m. Běžný spád komory je 2,9 m. Horní vrata tvoří ocelová klapka s jednostranným hydraulickým pohonem. Dolní vrata jsou standardní vzpěrná rovněž s hydraulickým pohonem. Plnění je kombinované, a to dlouhými obtoky přes segmentové uzávěry a přímé, přepadem přes klapku; prázdnění pak

dlouhými obtoky. Provizorní zahrazení komory se provádí válcovými ocelovými hradidly do drážek v ohlavích plavební komory. V obou ohlavích komory lze instalovat unifikovaná náhradní vrata.

- **Velká plavební komora** má užitnou délku 155 m a šířku 22 m. Minimální hloubka vody nad horním záporníkem je 3,3 m, nad dolním záporníkem 3,0 m. Běžný spád komory je 2,9 m. Horní i dolní vrata jsou vzpěrná, oboje s hydraulickým pohonem. Dolní vrata jsou z horní vody chráněna hydraulicky ovládanou lanovou dynamickou ochranou. Plnění a prázdnění komory je dlouhými obtoky přes segmentové uzávěry. Provizorní hrazení komory se provádí ocelovými stavidlovými deskami, osazovanými plovoucí mechanizací mezi slupice.
- **Velín plavebních komor** je společný pro obě plavební komory a je umístěn na dělicí zdi mezi nimi. Proplavování je prováděno v poloautomatickém režimu, ale lze ho řídit též manuálně z obou ohlaví. Velín je moderní konstrukce, klimatizovaný, vybavený technologií pro sledování, měření a vyhodnocení dat z plavební komory a jezu, která jsou současně přenášena přes uzlový bod do vodohospodářského dispečinku Povodí Labe, státní podnik Hradec Králové.
- **Horní plavební kanál** je dlouhý 1040 m, ve dně široký minimálně 24 m a hluboký nejméně 3,1 m. Pro zlepšení hydraulických poměrů v dlouhém plavebním kanále je téměř v celé délce provedena úprava břehů svislou Larsenovou stěnou. Při levém břehu kanálu před komorami je veřejné přístaviště pro osobní lodi a stání pro malá plavidla čekající na proplavení a polohy pro plavidla správce vodní cesty.
- **Dolní plavební kanál** je dlouhý 500 m, ve dně široký minimálně 26 m a hluboký nejméně 3,1 m. V dolní části byla provedena korekce pravého břehu směrem do ostrova a vytvořeno stání pro nákladní plavidla čekající na proplavení. Při levém břehu u malé plavební komory je stání pro malá plavidla [1].

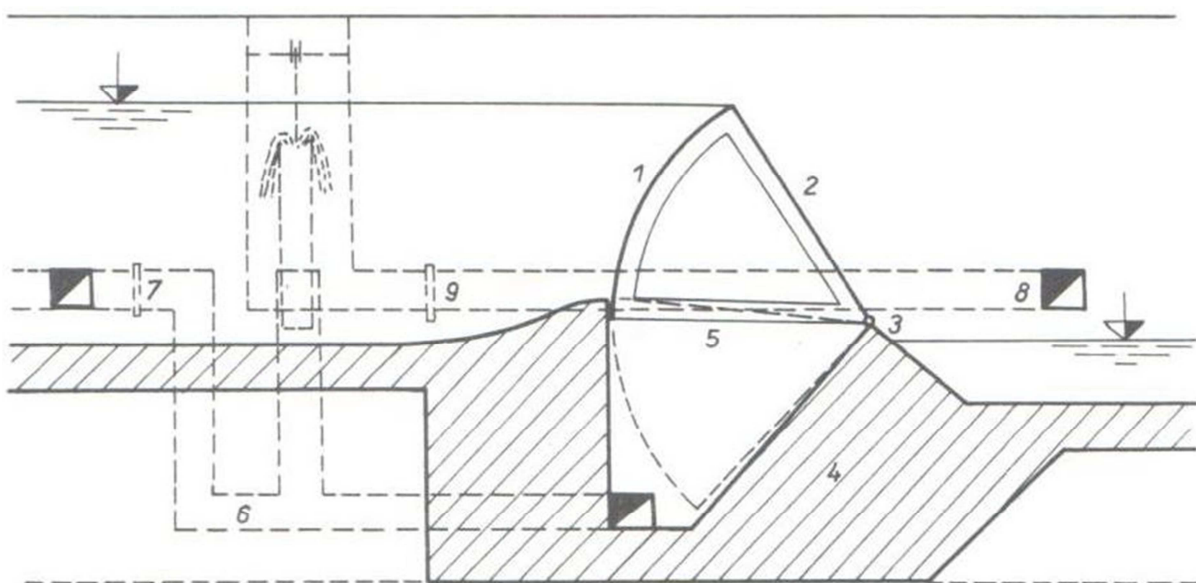


Obr. 2-2 Letecký snímek zdymadla v Roudnici nad Labem [1]

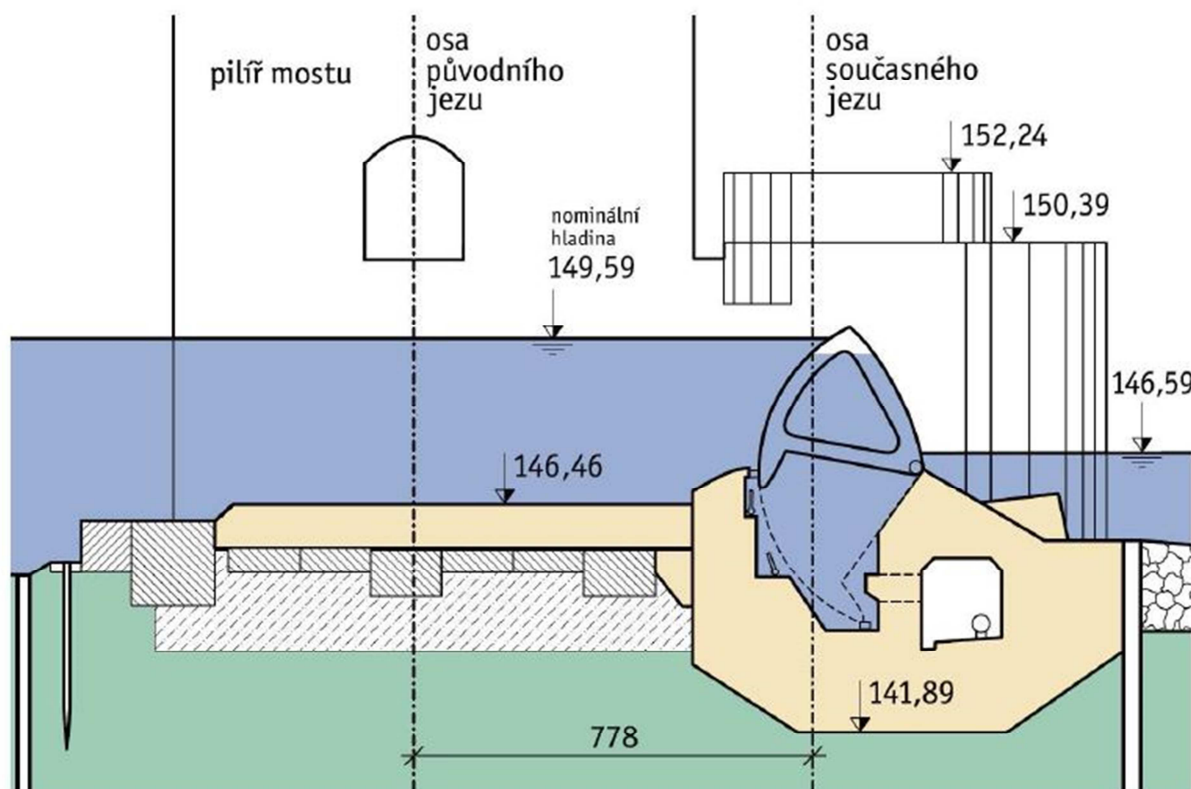
### 3 POPIS FUNKCE SEKTORU

Těleso sektoru má průřez vypouklého trojúhelníku a ze dvou stran je opatřeno plechovou obšívkou, která vytváří jeho hybné stěny s funkcí hradicí a přelivné plochy. Pod přelivnou plochou je uzávěr přes šest hlavních kluzných ložisek připojen k betonu spodní stavby. Dolní otevřená strana sektoru umožňuje hydrostatické síle, odpovídající výšce hladiny nad jezem, působit z tlačné komory na jeho pohyblivé stěny. Změnou těchto sil pak lze s tímto mohutným tělesem pohybovat. Hlavní ložiska dovolují sektoru otáčení (směrem vzhůru, pokud je pod sektor napuštěna voda ze vzduť hladiny nad jezem nebo naopak směrem dolů, pokud je z pod sektoru voda vypouštěna do dolní vody pod jez). Regulaci přítoku vody pod sektor nebo odtoku z pod něho, zajišťuje trojcestný ventil. Ovládání trojcestného ventilu je automatické ve vazbě na úroveň hladiny vody v nadjezí a na polohu přelivné hrany sektoru. Lze ho však ovládat i manuálně podle potřeb provozovatele. Přesnost dodržení hladiny je v centimetrech. Těleso sektoru je těsněno tvarovými pryžovými profily. Pro zajištění zimního provozu jsou boční štíty hradicí konstrukce každého pole vyhřívány.

Samotné sklápění se provádí vypouštěním vody z tlačné komory pomocí trojcestného ventilu, kdy je voda odváděna potrubím DN300 do spodní vody. Hlavní přívod vody do trojcestného ventilu se uzavře. Stejným postupem se sklápí střední pole a nakonec také levé pole. Jsou-li všechna pole sklopena, uzavře se ventilem o světlosti DN500 hlavní přívod vody do samotného jezu. Zvedání jezu pak probíhá opačným způsobem [5].



**Obr. 3-1** Schéma sektorového hydrostatického jezu: 1-válcová stěna, 2-přelivná stěna, 3-ložiska otáčení, 4-spodní stavba, 5-tlačná komora, 6-propojení komory s horní zdrží, 7-uzávěr potrubí č. 6, 8-propojení komory s dolní vodou, 9-uzávěr potrubí č. 8 [2]



**Obr. 3-2** Schématický řez jezovým polem [1]

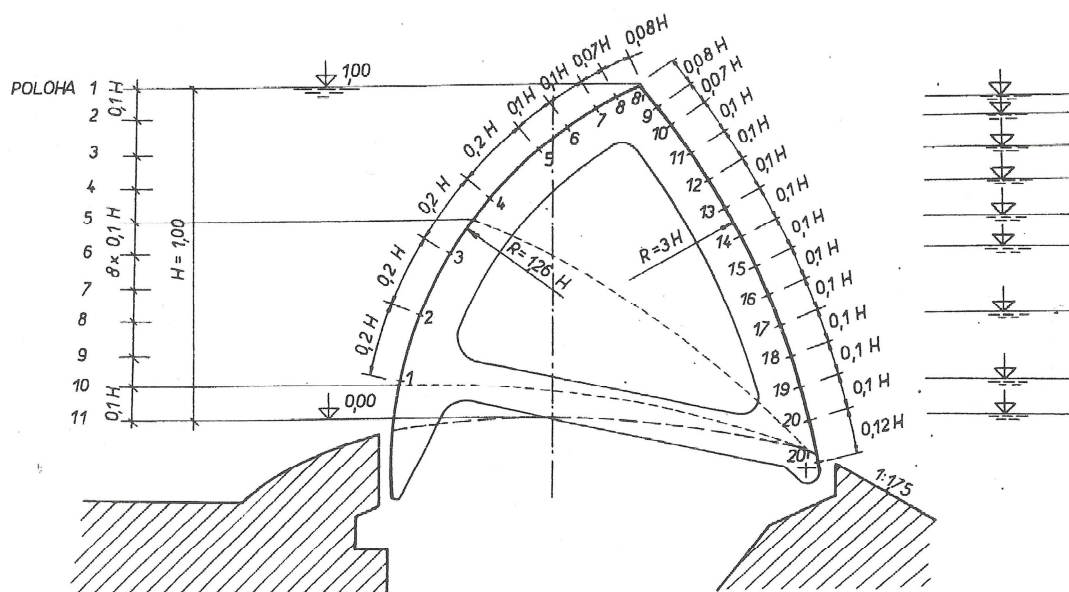


## 4 POUŽITÁ METODIKA VÝPOČTU CELKOVÉHO MOMENTU

Výpočet celkového otáčivého momentu se určí jako součet dílčích momentů. Tyto dílčí momenty se mohou rozdělit:

- momenty vyvolané hydrodynamickým účinkem přepadající vody přes vzdušní líc jezu
- momenty vyvolané hydrostatickým účinkem vody na vnitřní povrch přelivného líce sektoru při propojení tlakové komory s prostorem dolní a horní zdrže
- momenty vyvolané vlastní tíhou konstrukce
- momenty vyvolané vztlakovou silou
- moment vyvolán třecí silou ve spárech

Pro zjednodušení se celá úloha se řešila vždy na 1 m šířky konstrukce. Hradicí výška konstrukce je  $H = 2,7$  m. Polohy konstrukce a úrovně vzdutí hladiny se odvíjely od modelového výzkumu uskutečněného na katedře hydrotechniky ČVUT v Praze roku 1968 [7]. Při výzkumu bylo zkoumáno celkem 11 poloh sektoru. Kdy 1. poloha je poloha úplného zvednutí sektoru na kótu 150,30 m n. m. a další poloha je zmenšena o desetinu celkové hradicí výšky, tedy o 0,27 m. Poslední 11. poloha je na kótě 147,6 m n. m.



Obr. 4-1 Zobrazení poloh sektoru a hladin dolní vody při modelovém výzkumu [7]

## 4.1 MOMENTY VYVOLANÉ HYDRODYNAMICKÝM ÚČINKEM PŘEPADAJÍCÍ VODY PŘES VZDUŠNÍ LÍC JEZU

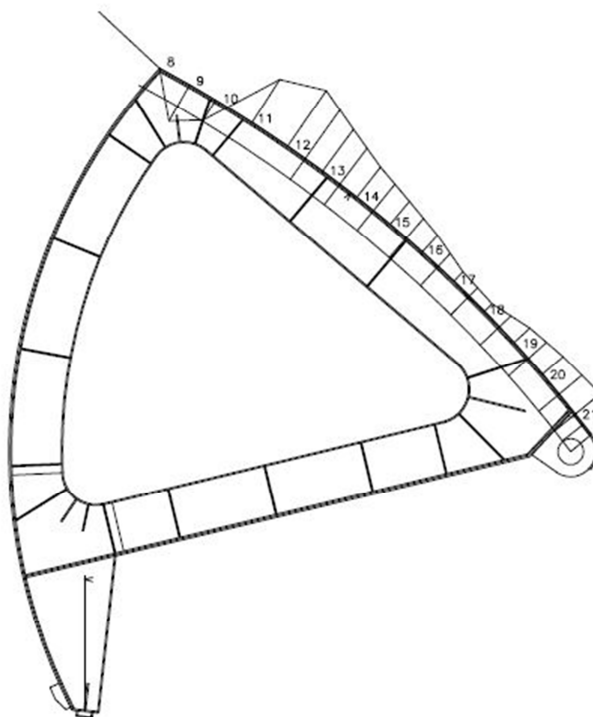
Voda přepadající přes vzdušní líc sektoru vyvolává hydrodynamickým účinkem síly. Tlakové výšky byly měřeny při podrobném hydrotechnickém modelovém výzkumu funkce jednoho z nejpoužívanějšího tvaru uzávěru. Účinek byl měřen piezometry a výsledná hodnota byla převedena na jednotkovou hradicí výšku  $H$ , kdy  $H$  je celková hradicí výška v metrech. V tomto případě  $H = 2,7$  m. Každá takto změřená tlaková výška  $f_i$  působí na určitém dílčím úseku  $l_{xi}$ , kde předpokládáme konstantní tlak. Kolmá vzdálenost středu úseku  $l_{xi}$  ke středu čepu, a tedy ke středu otáčení konstrukce, je vzdálenost  $l$ . Všechny tyto veličiny jsem si změřil v programu AutoCAD 2013. Výsledný moment a síly **na jeden metr šířky konstrukce** potom dostaneme pomocí rovnic:

$$p_i = \rho \cdot g \cdot f_i \quad (4-1)$$

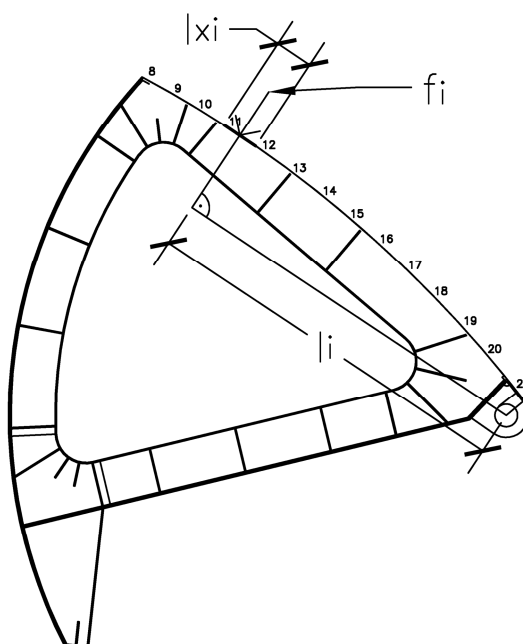
$$F_{při} = p \cdot l_{xi} \cdot 1 \text{ m} \quad (4-2)$$

$$M_{př} = \sum F_{při} \cdot l_i \cdot 1 \text{ m} \quad (4-3)$$

$M_{př}$	[N·m]	moment vyvolán přepadajícím paprskem na jeden metr konstrukce
$f_i$	[m]	tlaková výška naměřená při modelovém výzkumu
$l_x$	[m]	délka úseku, na který působí tlaková výška
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$l$	[m]	rameno síly
$\rho$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota vody
$F_{při}$	[N]	síla vyvolaná přepadovým paprskem na dílčím úseku
$p_i$	[Pa]	tlak působící na dílčím úseku



**Obr. 4-2** Průběh tlaků na vzdušném líci a rozmístění piezometrů

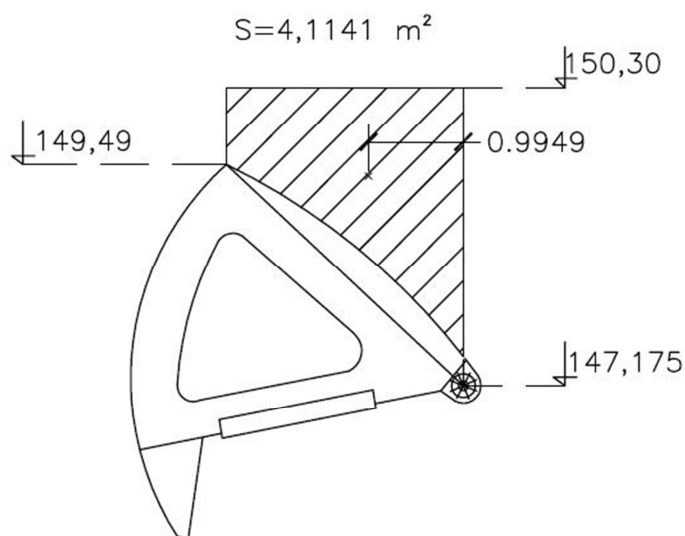


**Obr. 4-3** Ukázka zjišťování dílčího úseku  $l_{xi}$  a ramene  $l_i$



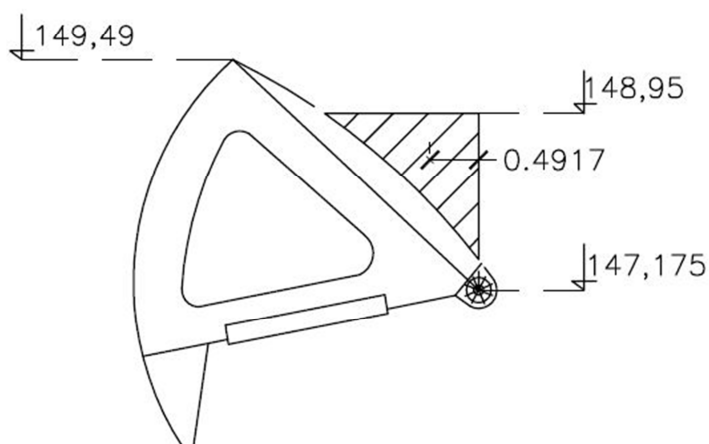
## 4.2 MOMENTY VYVOLANÉ HYDROSTATICKÝM ÚČINKEM VODY PŘI PROPJENÍ TLAKOVÉ KOMORY S PROSTOREM HORNÍ NEBO DOLNÍ ZDRŽE

Výslednici hydrostatických sil vyvozující moment na válcovou plochu, která má tvořící přímky rovnoběžné s některou z os, můžeme rozdělit na složku síly horizontální a síly vertikální. Pro výpočet těchto sil bylo nutno zjistit plochu zatěžovacích obrazců. Pro každou pozici se uvažuje stav při propojení s horní zdrží a stav při propojení s dolní zdrží. Z toho vyplývá, že je nutno zjistit pro každý zatěžovací stav plochu horizontálního a vertikálního zatěžovacího obrazce vyvolaného vodou z horní zdrže a plochu horizontálního a vertikálního zatěžovacího obrazce vyvolaného vodou z dolní zdrže. Hledané momenty pak dostaneme vynásobením dané síly příslušným ramenem. Velikost ramene je pak rovna velikosti kolmice vedené ze středu hřídele na výslednici horizontální popřípadě vertikální síly. Plochy vertikálních složek jsem si kvůli jejich složitému tvaru odměřoval v programu AutoCAD 2013. K určení polohy těžiště jsem použil nadstavbu Centroid, která v zadané uzavřené oblasti vyznačí těžiště. Díky tvaru této konstrukce není potřeba řešit zatížení působící zevnitř na přelivný líc konstantního poloměru od osy otáčení, neboť vyvozuje vždy nulový moment vzhledem k ose otáčení konstrukce.



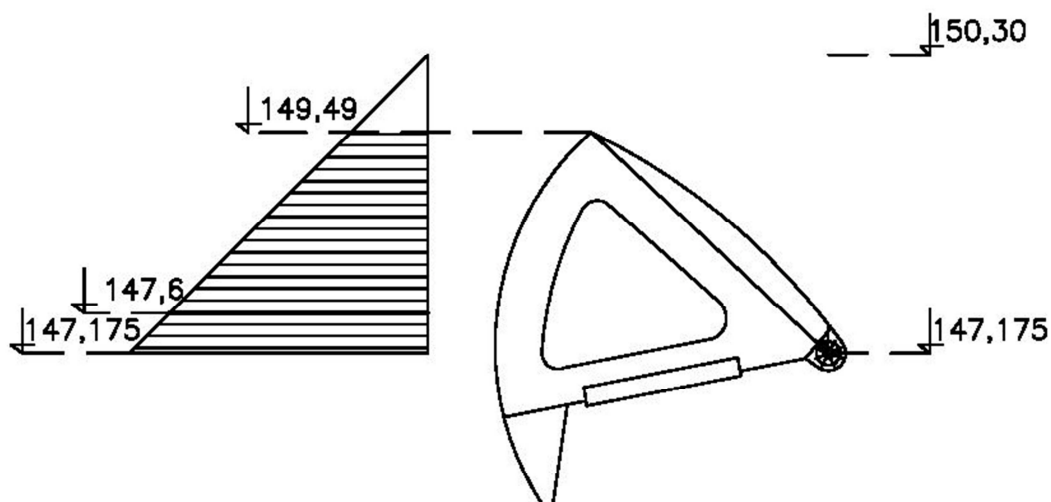
**Obr. 4-4** Ukázka plochy vertikálního zatěžovacího obrazce při propojení tlakové komory s horní zdrží a polohy jeho těžiště

$$S=1,0272 \text{ m}^2$$

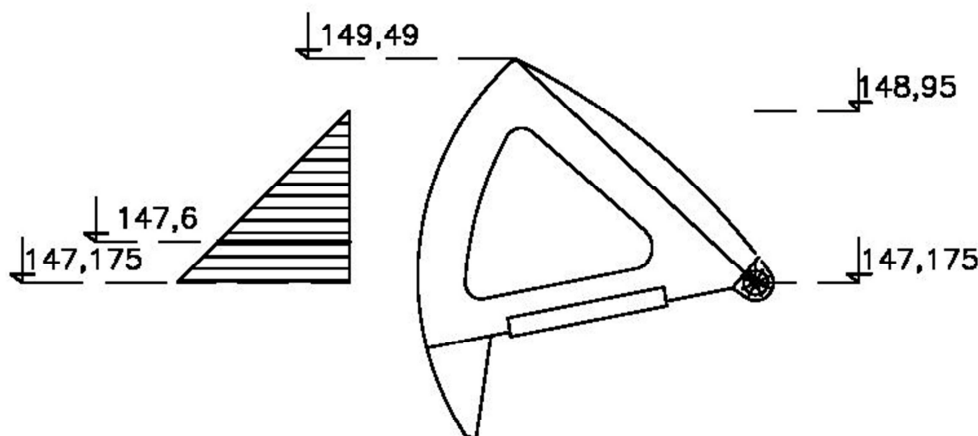


**Obr. 4-5** Ukázka plochy vertikálního zatěžovacího obrazce při propojení komory s dolní zdrží a polohy jeho těžiště

Plochy zatěžovacích obrazců horizontálních složek můžeme vyjádřit jako rovnoramenné pravoúhlé trojúhelníky s velikosti odvěsny rovnou hloubky vody. Účinná plocha je pak brána pouze ode dna po největší úroveň konstrukce, jak je patrné z obrázku 5-5. Pokud je ale hladina níže než konstrukce, považujeme za velikost odvěsny pouze odlehlost dna a hladiny. Takový případ můžeme pozorovat na obrázku 5-6.



**Obr. 4-6** Plocha horizontálního zatěžovacího obrazce při propojení komory s horní zdrží



**Obr. 4-7** Plocha horizontálního zatěžovacího obrazce při propojení komory s dolní zdrží

Výsledné momenty jsem počítal v programu Microsoft Excel 2010. Výstup s propojenou horní zdrží je v tabulce 5-11. Výstupy s propojenou dolní zdrží je v tabulkách 5-12, 5-13 a 5-14. **Silové a momentové hodnoty jsou vztažené na 1 m šířky konstrukce.**

$$F_i = S_i \cdot \rho \cdot g \cdot 1 \text{ m} \quad (4-4)$$

$$M_i = F_i \cdot r_i \cdot 1 \text{ m} \quad (4-5)$$

$a$	[m]	odlehlost mezi horní hladinou (150,3 m n. m.) a horní hranou jezu
$S_{\text{ver}}$	[m <sup>2</sup> ]	velikost vertikální zatěžovací plochy
$F_{\text{ver}}$	[N]	síla vyvolaná vertikálním zatěžovacím obrazcem
$r_{\text{ver}}$	[m]	rameno síly vertikální
$M_{\text{ver}}$	[N·m]	moment vyvolán vertikální silou
$S_{\text{hor}}$	[m <sup>2</sup> ]	velikost horizontální zatěžovací plochy
$F_{\text{hor}}$	[N]	síla vyvolaná horizontálním zatěžovacím obrazcem
$r_{\text{hor}}$	[m]	rameno síly horizontální
$M_{\text{hor}}$	[N·m]	moment vyvolán horizontální silou
$M_{\text{hsh}}$	[N·m]	celkový hydrostatický moment při propojení s horní zdrží
$M_{\text{hsd}}$	[N·m]	celkový hydrostatický moment při propojení s dolní zdrží

### 4.3 MOMENTY VYVOLANÉ VLASTNÍ TÍHOU KONSTRUKCE

Hmotnost jednoho metru konstrukce je 1456 kg. Dle základních poznatků z fyziky víme, že těžiště je působíště tíhové síly, která působí na těleso. Se sklápěním sektoru se ovšem vodorovná vzdálenost mezi těžištěm konstrukce a středem čepu mění. Proto jsem si musel pomocí programu AutoCAD odměřit tyto vzdálenosti při všech polohách konstrukce. Celý výpočet jsem pak prováděl opět **na metr šířky** konstrukce.

$$M_g = m \cdot r \cdot g \cdot 1 \text{ m} \quad (4-6)$$

$M_g$	[ N·m ]	moment vyvolán vlastní tíhou konstrukce
$m$	[kg]	hmotnost konstrukce
$r$	[m]	vodorovná vzdálenost mezi těžištěm a středem čepu
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení

## 4.4 MOMENTY VYVOLANÉ VZTLAKOVOU SÍLOU

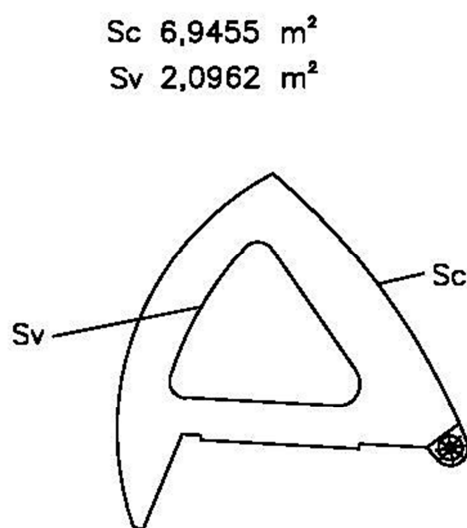
Dle Archimédova zákona (Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčované silou, rovnající se tíze kapaliny, tělesem vytlačené) se musí také započítat vztlak od ponořených ocelových částí jezové konstrukce. K zjištění vztlaku je nutno zjistit objem ponořených částí. Ten zjistíme, když hmotnost konstrukce podělíme hustotou oceli, ze které je konstrukce vyrobena. Váha jednoho metru konstrukce činí **1 456 kg** a hustota oceli  $\rho_{Fe}$  je **7 850 kg/m<sup>3</sup>**.

$$V = \frac{m}{\rho_{Fe}} \quad (4-7)$$

$V$	[m <sup>3</sup> ]	celkový objem oceli konstrukce
$m$	[kg]	hmotnost jednoho metru konstrukce
$\rho_{Fe}$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota oceli

Objem oceli je tedy 0,185 m<sup>3</sup> na jeden metr. Tento objem je však veškeré oceli a nás zajímá pouze ponořený objem oceli. K zjištění hledaného objemu a následnému momentu vyvolaného vztlakovou silou jsem opět použil software AutoCAD 2013. Pomohl jsem si zavedením pomocných ploch, kterým jsem přiřazoval příslušný objem ponořené části. Pro zjednodušení výpočtu jsem uvažoval, že celá tato pomocná plocha je uvnitř vyplněná naprosto homogenním prostředím, a tudíž jsem mohl opět využít program Centroid, který v takto ohraničených plochách vyznačil těžiště. Pro pozici 1 se počítá s hydrostatickým vlivem dolní vody. U zbylých pozic (2-11) se s působením dolní vody na přelivný líc sektoru nepočítá, neboť uvažujeme, že vodní paprsek přepadající přes vzdušný líc "odtláčí" dolní vodu. Vztlak na ponořenou část plechu přelivného líce je zahrnut ve vyjádřených tlakových hodnotách na vnitřní a vnější povrch. Nejprve bylo nutné určit celkovou pomocnou plochu ( $S_p$ ). Tu jsem si spočetl jako rozdíl plochy celkové ( $S_c$ ) a plochy vnitřní části obrazce ( $S_v$ ). Celková pomocná plocha má hodnotu **4,849 m<sup>2</sup>**.

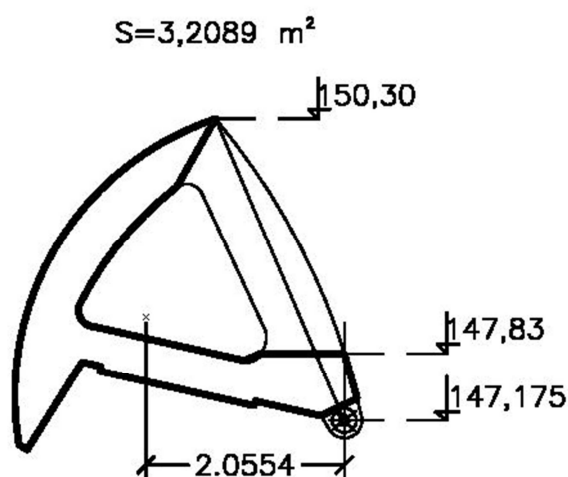
$$S_p = S_c - S_v \quad (4-8)$$



**Obr. 4-8** Plocha celková a plocha vnitřní části

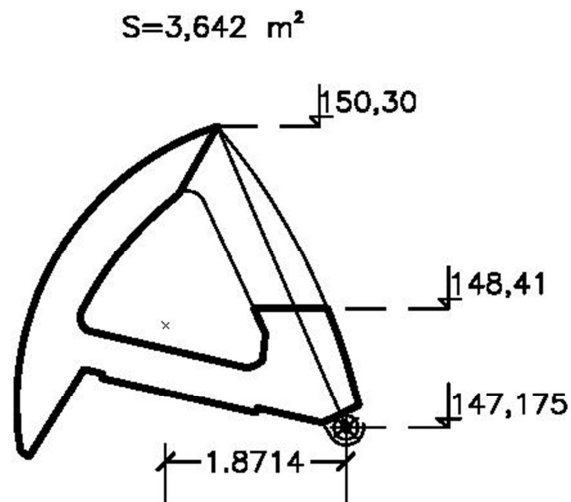
Této pomyslné ploše jsem posléze přiřadil celý objem oceli. Hledaný objem oceli, na který působí vztlak, se vyjádří z poměru změřené plochy ku celkové pomocné ploše a následným vynásobením celkovým objemem oceli.

$$V_{vz} = \frac{S}{S_p} \cdot V \quad (4-9)$$



**Obr. 4-9** Pomyslná plocha pro pozici 1, úroveň dolní vody 147,83 m n. m.

Na obrázcích 3-6 a 3-7 jsou tučně znázorněny plochy S, které jsem odečetl z CADu.



**Obr. 4-10** Plocha pro pozici 1, úroveň dolní vody 148,41 m n. m.

Znám-li tedy objem oceli ponořené do vody tak znám i objem vody ocelí vytlačenou. Z objemu vody pak určím vztlakovou sílu.

$$F_{vz} = \rho_v \cdot V_{vz} \cdot g \quad (4-10)$$

$F_{vz}$	[N]	vztlaková síla
$\rho_v$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota vody
$V_{vz}$	[m <sup>3</sup> ]	objem ponořené oceli
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení

Moment se spočítá jako součin síly vztlakové a kolmé vzdálenosti mezi středem otáčení a těžištěm zatěžovacího obrazce. I zde se úloha vždy řešila na **jeden metr šířky** konstrukce.

$$M_{vztl} = F_{vz} \cdot r \cdot 1 \text{ m} \quad (4-11)$$

$M_{\text{vztl}}$	[N·m]	vztlakový moment
$F_{\text{vz}}$	[ N ]	vztlaková síla
$r$	[m]	rameno otáčení



## 4.5 CELKOVÝ MOMENT

Před celkovým součtem jednotlivých dílčích momentů si je třeba uvědomit, že bude vždy působit třecí moment. Ten je způsoben mechanickým dotlačováním těsnění. Byl stanoven na hodnotu  $M_{\text{trec}} = 1,72 \text{ kN}\cdot\text{m}$  na jeden metr šířky konstrukce. [6] Jeho orientace bude uvažována vždy opačná oproti pohybu konstrukce. V konečném výsledku jsem volil kladnou orientaci ve směru zvedání konstrukce (ve směru chodu hodinových ručiček). Pokud se bude jednat o situaci, kdy se bude jez zvedat, tak třecí moment bude mít zápornou orientaci.

Celkový moment působící na celou konstrukci 54 m širokou se získá z uvedených jednotkových hodnot vynásobených šířkou. Přehled orientací dílčích zatěžovacích momentů od jednotlivých účinků je patrný z tabulek, které se nacházejí v přílohách 1 a 2.

Pro zvedání sektoru je uvažováno propojení tlačné komory s horní zdrží a účinek momentu od třecí síly působí proti pohybu, a tudíž bude odečítán. Pro sklápění sektoru je uvažováno propojení tlačné komory s dolní zdrží a účinek momentu od třecí síly působí proti pohybu, a tudíž bude přičítán.

**Tabulka 4-1** Celkové momenty a ovladatelnost sektoru

Poloha sektoru (označení shodné s výzkumem na modelu)	Relativní odlehlost $h_d/H$ hladiny dolní vody od nejnižší úrovně sklopného sektoru	Moment celkový = součet dílčích momentů s odečtem třetího momentu 1.72 kNm při zvedání	Moment celkový = součet dílčích momentů s přičtením třetího momentu 1.72 kNm při sklápění	Ovladatelnost sektoru propojováním jeho komory s horní nebo dolní zdrží
		$M_{celkh}$	$M_{celkd}$	
[-]	[-]	[kN·m·m <sup>-1</sup> ]	[kN·m·m <sup>-1</sup> ]	[-]
1	bez vlivu	32.835	-22.238	ANO
	0.1 H	32.240	-19.934	ANO
	0.3 H	29.613	-19.970	ANO
	0.5 H	23.263	-19.882	ANO
2	bez vlivu	36.723	-27.230	ANO
	0.1 H	35.804	-26.157	ANO
	0.3 H	33.391	-25.304	ANO
	0.5 H	27.420	-23.477	ANO
3	bez vlivu	42.047	-30.918	ANO
	0.1 H	41.808	-28.843	ANO
	0.3 H	39.915	-27.050	ANO
	0.5 H	33.924	-23.927	ANO
4	bez vlivu	47.695	-34.809	ANO
	0.1 H	47.695	-32.197	ANO
	0.3 H	45.900	-29.695	ANO
	0.5 H	40.081	-24.331	ANO
	0.6 H	34.334	-33.574	ANO
5	bez vlivu	53.252	-38.640	ANO
	0.1 H	53.252	-35.720	ANO
	0.3 H	52.308	-31.487	ANO
	0.5 H	46.762	-31.333	ANO
	0.6 H	40.029	-26.623	ANO
6	bez vlivu	57.153	-44.430	ANO
	0.1 H	57.153	-41.160	ANO
	0.3 H	56.583	-35.073	ANO
	0.5 H	51.830	-26.745	ANO
	0.6 H	46.375	-15.833	ANO
	0.7 H	37.742	-4.174	ANO
7	bez vlivu	61.239	-50.042	ANO
	0.1 H	61.239	-46.354	ANO
	0.3 H	61.057	-40.436	ANO
	0.5 H	57.111	-18.698	ANO
	0.6 H	52.031	-5.786	ANO
	0.7 H	43.198	<b>6.492</b>	<b>NE</b>

**Tabulka 4-2** Celkové momenty a ovladatelnost sektoru

Poloha sektoru (označení shodné s výzkumem na modelu)	Relativní odlehlost $h_d/H$ hladiny dolní vody od nejnižší úrovně sklopného sektoru	Moment celkový = součet dílčích momentů s odečtem třetího momentu 1.72 kNm při zvedání	Moment celkový = součet dílčích momentů s přičtením třetího momentu 1.72 kNm při sklápění	Ovladatelnost sektoru propojováním jeho komory s horní nebo dolní zdrží
		$M_{celkh}$	$M_{celkd}$	
[-]	[-]	[kN·m·m <sup>-1</sup> ]	[kN·m·m <sup>-1</sup> ]	[-]
8	bez vlivu	63.438	-57.494	ANO
	0.1 $H$	63.438	-52.448	ANO
	0.3 $H$	63.438	-41.430	ANO
	0.5 $H$	60.190	-13.156	ANO
	0.6 $H$	55.299	<b>0.136</b>	<b>NE</b>
	0.7 $H$	46.629	<b>11.769</b>	<b>NE</b>
	0.8 $H$	33.723	<b>21.673</b>	<b>NE</b>
9	bez vlivu	64.763	-66.231	ANO
	0.1 $H$	64.719	-61.121	ANO
	0.3 $H$	64.719	-39.540	ANO
	0.5 $H$	62.225	-10.169	ANO
	0.6 $H$	58.343	<b>3.238</b>	<b>NE</b>
	0.7 $H$	50.694	<b>14.002</b>	<b>NE</b>
	0.8 $H$	38.527	<b>21.538</b>	<b>NE</b>
10	bez vlivu	61.081	-80.030	ANO
	0.1 $H$	61.081	-72.213	ANO
	0.3 $H$	61.081	-42.673	ANO
	0.5 $H$	59.913	-12.859	ANO
	0.6 $H$	56.237	-14.478	ANO
	0.7 $H$	49.909	<b>9.342</b>	<b>NE</b>
	0.8 $H$	39.502	<b>15.602</b>	<b>NE</b>
	0.9 $H$	20.217	<b>13.419</b>	<b>NE</b>
	0.95 $H$	1.631	<b>3.563</b>	<b>NE</b>
11	bez vlivu	47.015	-109.229	ANO
	0.1 $H$	47.015	-87.599	ANO
	0.3 $H$	47.015	-57.205	ANO
	0.5 $H$	46.467	-27.344	ANO
	0.6 $H$	42.997	-15.634	ANO
	0.7 $H$	37.303	-6.134	ANO
	0.8 $H$	30.500	<b>2.258</b>	<b>NE</b>
	0.9 $H$	16.725	<b>3.679</b>	<b>NE</b>
	0.95 $H$	4.089	-1.357	ANO

## 5 ZÁVĚR

Dle výsledků bylo zjištěno, že ke zdvižení pole není potřeba žádných přídavných momentů v celém rozsahu uvažovaných poloh sektoru a polohy spodní vody. Opačný případ nastává při sklápění sektoru. Zde je značný vliv dolní vody při propojení s podjezím. Od polohy 7. při nejvyšším uvažovaném ovlivnění dolní vodou zde nastává situace, kdy je moment kladný (ve smyslu zdvihání pole) a tudíž není možno ho úplně sklopit. Tato situace nastává také v 8. poloze (při odlehlosti 0,6, 0,7 a 0,8), v 9. poloze (0,6, 0,7, 0,8 a 0,9), v 10. poloze (0,7, 0,8, 0,9 a 0,95) a v 11. poloze (0,8 a 0,9). V těchto případech je nutno pole zatížit, nebo pomocí čerpadla a odčerpáváním vody z tlačné komory dosáhnout stavu, kdy moment bude záporného významu. V úvahu se musí brát také nebezpečí u zdvihání v polohách 10 a 11 (obojí při odlehlosti 0,95), kdy je výsledný moment sice kladný ale nabývá malých hodnot, a tudíž může dojít k problematickému zdvihání konstrukce.

Také navrhuji další rozšíření výpočtových postupů, kde se bude uvažovat o opatření, aby mohla být konstrukce ovládána jen pomocí trojcestného ventilu a manipulací s hladinou v tlačné komoře. V tomto rozšíření se bude hledat rovnovážná hladina uvnitř sektoru

## 7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Povodí Labe: Roudnice nad Labem. n. d. [cit. 2015-02-07]. Dostupné z: [http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/zdl\\_roudnicenl.pdf](http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/zdl_roudnicenl.pdf)
- [2] PRŮCHA, Miloslav. 1980. *Jezy*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 292 s.
- [3] VÝBORA, Pavel. 1985. *Jezy*. 1. vyd. Brno: VUT, 146 s.
- [4] ŠULC, Jan 2014. *Tlakové a momentové poměry na sektorových uzávěrech jezu Roudnice*. Posudek. LVV-ÚVS-FAST VUT v Brně
- [5] KANICKÝ, SVĚRÁK, ŠPERKA. *Analýza havárie podpěrných patek na sektorovém jezu*. Technická zpráva Hydropol Project & Management, a.s. Dokument č. 131-0701-4-SEG
- [6] ČIHÁK, František 2005. *Posouzení funkce sektorového jezu v Roudnici nad Labem*.
- [7] Boor, B.; Kunštátský, J.; Patočka, C.: *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. SNTL Praha, 1968

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 5-19 Celkové momenty a ovladatelnost sektoru	38
Tabulka 5-20 Celkové momenty a ovladatelnost sektoru	39

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Prozatímní dřevěné jezy: 1 – kamenný zához; 2 – dřevěné piloty; 3 – dřevěné kuláče; 4 – haťový ponorný válec [2]	12
Obr. 1-2 Trvalý dřevěný jez: 1 – štětové stěny; 2 – dřevěné piloty; 3 – beton; 4 – fošny; 5 – hradicí těleso; 6 – vzpěra; 7 – kamenný zához [2]	12
Obr. 1-3 Dřevěný jez s výplní: 1 – štětové stěny; 2 – piloty; 3 – jílové těsnění; 4 – žulové kvádry; 5 – kamenný zához; 6 – převázky [2]	13
Obr. 1-4 Srubový jez: 1 – dřevěné trámce; 2 – bednění z fošen [2]	14
Obr. 1-5 Kamenný jez: 1 – jemný materiál; 2 – hrubý materiál [2]	14
Obr. 1-6 Betonový jez: a) se strmou přelivnou stěnou; b) – se šikmou přelivnou stěnou [2]	15
Obr. 1-7 Otevřený typ Ambursenova otevřeného jezu [2]	15
Obr. 1-8 Dutá klapka s pohybovým mechanismem [2]	17
Obr. 1-9 Stavidlový jez [2]	17
Obr. 1-10 Segmentový jez zdvižný [2]	18
Obr. 1-11 Válcový jez s dolním pohyblivým štítem [2]	18
Obr.2-1 Poloha jezu na Labi [1]	20
Obr. 2-2 Letecký snímek zdymadla v Roudnici nad Labem [1]	23
Obr. 3-1 Schéma sektorového hydrostatického jezu: 1-válcová stěna, 2-přelivná stěna, 3-ložiska otáčení, 4-spodní stavba, 5-tlačná komora, 6-propojení komory s horní zdrží, 7-uzávěr potrubí č. 6, 8-propojení komory s dolní vodou, 9-uzávěr potrubí č. 8 [2]	24
Obr. 3-2 Schématický řez jezovým polem [1]	25
Obr. 5-1 Zobrazení poloh sektoru a hladin dolní vody při modelovém výzkumu [7]	26
Obr. 5-2 Průběh tlaků na vzdušném líci a rozmístění piezometrů	28
Obr. 5-3 Ukázka zjišťování dílčího úseku $l_{xi}$ a ramene $l_i$	28
Obr. 5-4 Ukázka plochy vertikálního zatěžovacího obrazce při propojení tlakové komory s horní zdrží a polohy jeho těžiště	29
Obr. 5-5 Ukázka plochy vertikálního zatěžovacího obrazce při propojení komory s dolní zdrží a polohy jeho těžiště	30
Obr. 5-6 Plocha horizontálního zatěžovacího obrazce při propojení komory s horní zdrží	30
Obr. 5-7 Plocha horizontálního zatěžovacího obrazce při propojení komory s dolní zdrží	31
Obr. 5-8 Plocha celková a plocha vnitřní části	34
Obr. 5-9 Pomyslná plocha pro pozici 1, úroveň dolní vody 147,83 m n. m.	34
Obr. 5-10 Plocha pro pozici 1, úroveň dolní vody 148,41 m n. m.	35

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$M_{\text{př}}$	moment vyvolán přepadajícím paprskem	[N]
$f_i$	tlaková výška naměřená při modelovém výzkumu	[m]
$l_x$	délka úseku, na který působí tlaková výška	[m]
$l$	rameno síly	[m]
$a$	odlehlost mezi horní hladinou (150,3 m n. m.) a horní hranou jezu	[m]
$S_{\text{ver}}$	velikost vertikální zatěžovací plochy	[m <sup>2</sup> ]
$F_{\text{ver}}$	síla vyvolaná vertikálním zatěžovacím obrazcem	[N]
$r_{\text{ver}}$	rameno síly vertikální	[m]
$M_{\text{ver}}$	moment vyvolán vertikální silou	[N·m]
$S_{\text{hor}}$	velikost horizontální zatěžovací plochy	[m <sup>2</sup> ]
$F_{\text{hor}}$	síla vyvolaná horizontálním zatěžovacím obrazcem	[N]
$r_{\text{hor}}$	rameno síly horizontální	[m]
$M_{\text{hor}}$	moment vyvolán horizontální silou	[N·m]
$M_{\text{hsh}}$	hydrostatický moment při propojení s horní zdrží	[N·m]
$M_{\text{hsd}}$	hydrostatický moment při propojení s dolní zdrží	[N·m]
$M_g$	moment vyvolán vlastní tíhou konstrukce	[N]
$r$	vodorovná vzdálenost mezi těžištěm a středem čepu	[m]
$g$	tíhové zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
$V$	celkový objem oceli konstrukce	[m <sup>3</sup> ]
$m$	hmotnost jednoho metru konstrukce	[kg]
$\rho$	hustota oceli	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$F_{\text{vz}}$	vztlaková síla	[N]
$\rho_v$	hustota vody	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$V_{\text{vz}}$	objem ponořené oceli	[m <sup>3</sup> ]
$M_{\text{vztlh}}$	moment vyvolán vztlakovou silou při propojení s horní zdrží	[N·m]
$M_{\text{vztld}}$	moment vyvolán vztlakovou silou při propojení s dolní zdrží	[N·m]
$M_{\text{celkh}}$	celkový moment při propojení s horní zdrží	[N·m]
$M_{\text{celkd}}$	celkový moment při propojení s dolní zdrží	[N·m]